

# Examen Final

Mardi 17 Janvier 2017

A. Gaillard – A. N'Diaye

EL47 – Automne 2016

## Instructions

- Durée de l'examen : 2 heures.
- Lisez attentivement et entièrement l'énoncé des exercices proposés.
- Respectez les instructions des énoncés.
- Aucun document ou appareil électronique, excepté la calculatrice, n'est autorisé durant l'examen.
- Tout prêt de matériel et toute collaboration sont strictement interdits.

**Ce sujet comporte deux parties notées A et B qui sont à faire sur des copies séparées.**

## Partie A

### 1. Dipôles en régime sinusoïdal (2 points)

Un dipôle  $D_1$  purement résistif ( $r = 50 \Omega$ ) est associé en série avec un dipôle  $D_2$ . Le dipôle  $D_2$  est soit une résistance, soit un condensateur, soit une bobine de résistance interne négligeable. Une tension sinusoïdale  $v(t)$  de fréquence  $f = 500 \text{ Hz}$  est appliquée aux bornes de l'ensemble (Figure 1).

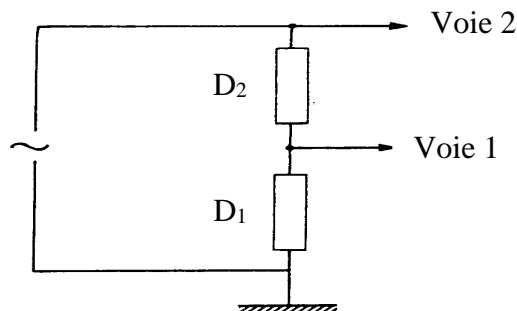


Figure 1

Le branchement de l'oscilloscope comprenant deux voies est également indiqué à la Figure 1 ci-dessus.

Avec les calibres identiques (1V par carreau) pour les voies verticales, on obtient l'oscillogramme de la Figure 2 ci-dessous.

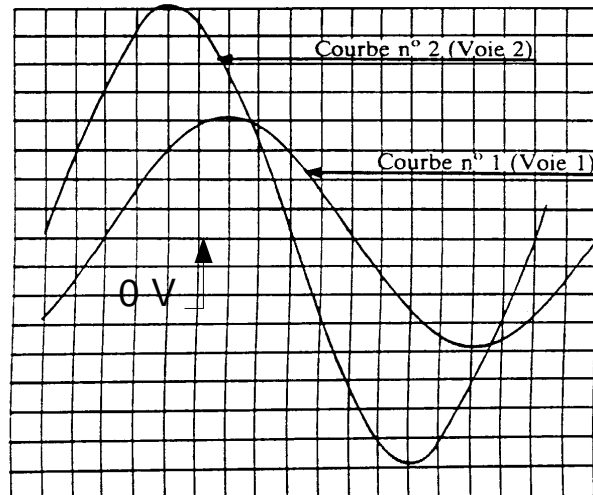


Figure 2

- 1) Quelles sont les grandeurs visualisées sur les voies 1 et 2 ?
- 2) Calculer le déphasage  $\varphi$  du courant  $i(t)$  traversant les dipôles par rapport à la tension  $v(t)$ .
- 3) Quelle est la nature du dipôle  $D_2$  ?
- 4) Calculer la grandeur caractéristique (R, L ou C) de ce dipôle.

## 2. Installation électrique de la tour Eiffel (5 points)

On s'intéresse à l'installation électrique de la tour Eiffel qui, avec ses 5 ascenseurs, ses 10 000 ampoules, son relais radio, ses restaurants et boutiques, représente un lieu important de consommation électrique. Pour en faire l'étude, on considère le schéma électrique simplifié, correspondant à l'installation triphasée, représenté sur la Figure 3 ci-dessous.

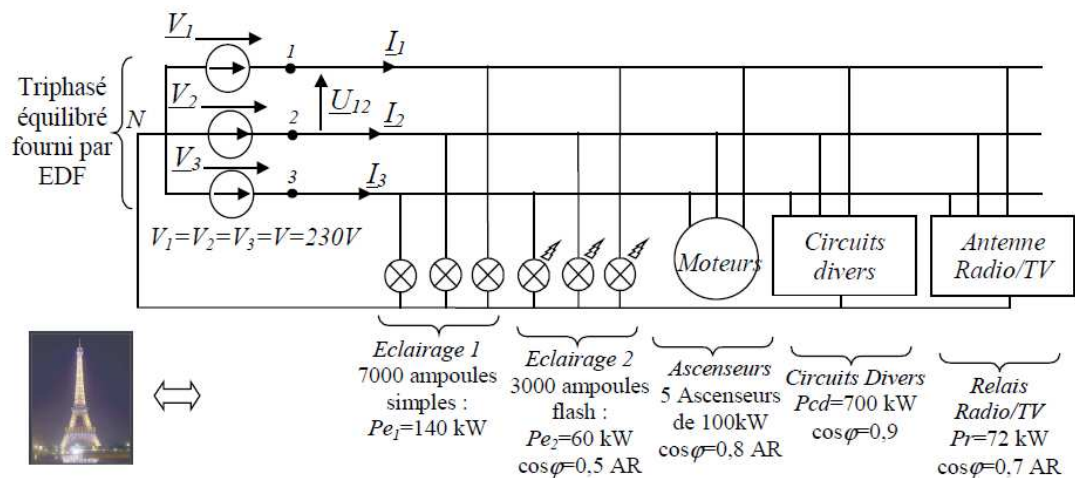


Figure 3

Remarque : On considère dans l'exercice que toutes les charges sont équilibrées. Par ailleurs, les puissances indiquées correspondent au fonctionnement en plein régime des diverses charges.

- 1) Calculer les puissances active et réactive totales correspondant au fonctionnement simultané des 5 ascenseurs (de 100 kW chacun) :  $P_a$  et  $Q_a$ .
- 2) Les 3000 ampoules flash sont tributaires d'un facteur de puissance de 0,5 inductif. Calculer alors la puissance réactive  $Q_{e2}$  qu'elles consomment en plein régime.
- 3) Calculer également les puissances réactives  $Q_{cd}$  et  $Q_r$  consommées respectivement par les circuits divers ( $\cos\phi = 0,9$  AR) et par l'antenne Radio ( $\cos\phi = 0,7$  AR) en plein régime.
- 4) Calculer alors la puissance active totale  $P_t$  et la puissance réactive totale  $Q_t$  correspondant au fonctionnement en plein régime de la tour Eiffel.
- 5) En déduire la valeur du courant de ligne  $I$  consommé en tête de l'installation et la valeur du facteur de puissance global.
- 6) Calculer l'énergie (en kWh) consommée en une journée par cette installation en considérant les points suivants ( $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW consommé pendant } 1 \text{ h.}$ ) :
  - Eclairages : plein régime 8h/24h
  - Ascenseurs : plein régime 12h/24h
  - Circuits divers : plein régime 16h/24h
  - Antenne Radio/TV : plein régime 24h/24h
- 7) Calculer alors le prix d'une journée d'alimentation électrique sachant que  $1 \text{ kWh} = 0,1 \text{ €}$ .

### 3. Circuits triphasés (5 points)

On considère un tronçon de réseau électrique de 100 km de long reliant une centrale de production à une région de consommation. La centrale est représentée par un générateur triphasé équilibré direct, supposé parfait, de tension efficace entre phases  $U'$ . La ligne est modélisée par une résistance et une inductance à déterminer. L'ensemble des consommateurs est représenté par une « charge » supposée équilibrée consommant au maximum 300 MW (MégaWatts). Le schéma électrique simplifié correspondant est représenté à la Figure 4 ci-dessous.

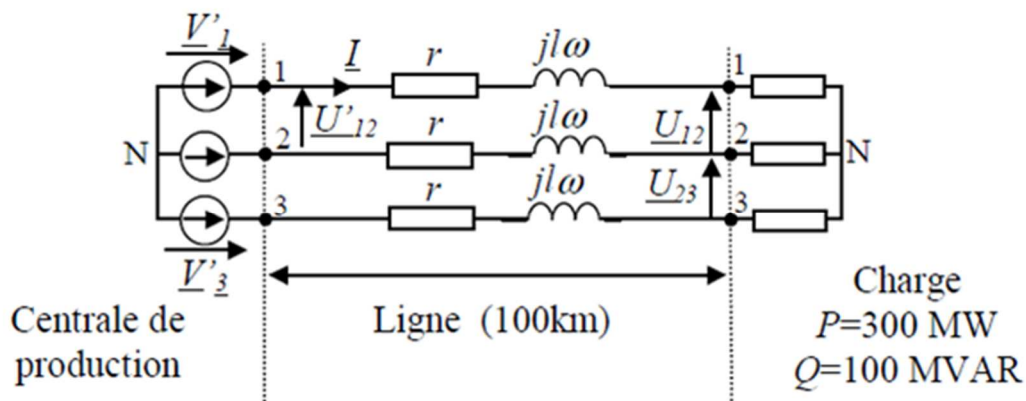


Figure 4

- 1) La valeur efficace  $U$  des tensions composées au niveau de la charge vaut :  $U = 400$  kV. En déduire la valeur efficace  $V$  des tensions simples correspondantes.
- 2) La charge consomme, au maximum, les puissances  $P = 300$  MW et  $Q = 100$  MVar. Calculer les valeurs correspondantes de la puissance apparente  $S$  et du facteur de puissance associés à cette charge.
- 3) Calculer alors la valeur efficace  $I$  du courant de ligne consommé sur chaque phase par la charge.
- 4) La ligne présente, sur chaque phase, une résistance linéique de  $0,05$   $\Omega/\text{km}$  et une réactance linéique de  $0,3$   $\Omega/\text{km}$ . Calculer alors les valeurs de la résistance de ligne  $r$  et de la réactance de ligne  $l\omega$  (le terme « linéique » signifie « par unité de distance »).
- 5) En déduire, par un bilan de puissance, les valeurs de la puissance active totale  $P_t$  et de la puissance réactive totale  $Q_t$  fournies par la centrale de production.
- 6) Calculer alors la valeur de la puissance apparente totale  $S_t$ . En déduire la valeur de la tension simple  $V'$  et de la tension composée  $U'$  que la centrale doit fournir.
- 7) Représenter le schéma monophasé équivalent de ce système triphasé (c'est à dire le circuit que représente une des phases). Ecrivez la loi des mailles relative à ce schéma.
- 8) Réaliser alors un diagramme de Fresnel sans échelle représentant les grandeurs complexes  $\underline{V}$ ,  $\underline{I}$ ,  $r.\underline{I}$ ,  $j.l\omega.\underline{I}$  et  $\underline{V}'$  (on pourra organiser les différents vecteurs de façon à réaliser la construction vectorielle correspondant à la loi des mailles).
- 9) La puissance active consommée par la ligne de transport représente une perte. Calculer alors la valeur du rendement du système (on considèrera que la puissance utile est  $P$ ).
- 10) Calculer alors la valeur maximale de la longueur de la ligne permettant au rendement de rester supérieur à 90%.

## Partie B

### 1. Circuit magnétique (3 points)

Soit le circuit magnétique de la Figure 1 ci-dessous, constitué de trois noyaux N et de deux culasses C. Sur le noyau central est placé un enroulement de  $N = 125$  spires. Les noyaux et les culasses ont de sections égales  $S = 64\text{cm}^2$  et sont constitués d'un même matériau ferromagnétique de perméabilité relative  $\mu_r = 1200$ . La longueur moyenne d'une ligne de champ dans un noyau est  $l_{N_{\text{moy}}} = 21\text{cm}$  et celle d'une culasse est  $l_{C_{\text{moy}}} = 35\text{cm}$ .

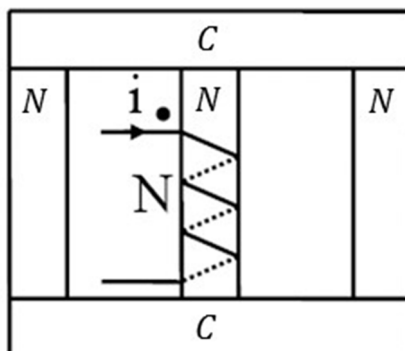


Figure 1

- 1) Calculer les réluctances  $\mathfrak{R}_N$  et  $\mathfrak{R}_C$  d'un noyau et d'une culasse.
- 2) En divisant chaque culasse en deux parties égales, dessiner le schéma magnétique équivalent et le simplifier compte tenu des règles d'association des réluctances.
- 3) Déterminer l'expression du flux  $\Phi$  dans le noyau central en fonction de  $N$ ,  $i$ ,  $\mathfrak{R}_N$  et  $\mathfrak{R}_C$ . En déduire la valeur numérique de l'inductance  $L$  de la bobine.

### 2. Transformateur monophasé (5 points)

Deux essais ont été réalisés sur un transformateur monophasé dont la plaque signalétique porte les indications suivantes :  $V_1 = 1800\text{V}$ ,  $f = 50\text{Hz}$ .

- Essai à vide à tension primaire nominale :  $V_{20} = 220\text{V}$ ,  $I_{10} = 1\text{A}$  et  $P_{10} = 600\text{W}$ .
- Essai en court-circuit :  $V_{1CC} = 55\text{V}$ ,  $I_{2CC} = 120\text{A}$ ,  $P_{1CC} = 720\text{W}$ .

Au point de fonctionnement nominal, le transformateur débite un courant de  $I_{2n} = 80\text{A}$ .

- 1) Déterminer à partir de l'essai à vide :
  - a. le facteur de puissance à vide  $\cos(\varphi_0)$ ,
  - b. le rapport de transformation,
  - c. les paramètres  $\mathfrak{R}_f$  et  $X_m$ .
- 2) Déterminer à partir de l'essai en court-circuit la résistance  $R_s$  et la réactance  $X_s$  ramenées au secondaire du transformateur.

- 3) Etablir le schéma équivalent du transformateur correspondant à l'hypothèse de Kapp. Justifier.
- 4) Pour le point de fonctionnement nominal, calculer les chutes de tensions et établir les diagrammes vectoriels correspondants pour les cas suivants :
  - a. la charge est purement résistive,
  - b. la charge est inductive,  $\cos(\varphi_2) = 0.8AR$ ,
  - c. la charge est capacitive,  $\cos(\varphi_2) = 0.8AV$ .
- 5) Pour le point de fonctionnement nominal avec la charge inductive ci-dessus, déterminer :
  - a. le bilan des puissances,
  - b. le rendement du transformateur.